

桩身混凝土在竖向荷载作用下的压缩量试验研究

任光勇¹ 张忠苗² 宋仁乾¹

(¹浙江绿城建筑设计有限公司 杭州 310012) (²浙江大学岩土工程研究所 杭州 310027)

摘要 从既有桩顶沉降量又有桩端沉降量及桩身各点位移量的静载荷试验资料入手,分析了钻孔桩的荷载传递和变形性状,揭示了不同规格桩在不同荷载水平下的桩身混凝土压缩量和弹塑性变化规律,并分析了桩身压缩量的影响因素。得出了一些有用的结论。

关键词 岩土力学, 桩身弹性压缩量, 长径比, 荷载水平, 稳定系数

分类号 TU 473.1⁺1

文献标识码 A

文章编号 1000-6915(2004)02-0348-07

TESTING STUDY ON COMPRESSION OF PILE UNDER VERTICAL LOAD

Ren Guangyong¹, Zhang Zhongmiao², Song Renqian¹

(¹Zhejiang Greentown Architectural Design Co. Ltd., Hangzhou 310012 China)

(²Institute of Geotechnical Engineering, Zhejiang University, Hangzhou 310027 China)

Abstract A multi-parameter static load test method of pile is introduced. With this method, the results calculated with elastic method are compared with the results measured in the field test, and the elastical and plastical characteristics of pile and the influence factors on pile compression are analysed. Some useful conclusions are drawn at last.

Key words rock and soil mechanics, elasto-plastic compression, length-diameter ratio, load level, stability coefficient

1 问题的提出

众所周知,当竖向荷载施加于桩顶时,一方面,桩身混凝土由于受力而压缩;另一方面,桩端土受到桩传来的压力也会有一个压缩量。所以,桩顶位移应包括桩身压缩量和桩端位移两部分^[1, 2],而过去常规的只测读桩顶沉降的静载试验^[3~5]无法区分桩身压缩量和桩端位移量,从而无法对桩身压缩量进行单独研究。而桩身压缩量是一个很重要的参数,它直接关系到桩身混凝土弹塑性变化规律和桩的破坏方式,所以,有必要对它进行单独研究。本

文在新的多参数静载试验中既观测了桩顶沉降,又同时观测了桩端沉降,与此同时,还对许多桩埋设钢筋计得到了桩身应力-应变关系,故能够得到不同长径比的桩在不同荷载水平下的压缩量变化规律。

2 国内外研究背景

长期以来,人们对桩的变形研究只局限于桩顶与桩端沉降量的研究,所做工作主要集中在桩土作用模型和桩端土的压缩变形研究^[6, 7]。为此,学术界进行了大量积极而有意义的探索。但是,对桩身压缩量的研究工作却很少涉及。目前,单桩沉降分

2002年6月24日收到初稿,2002年8月11日收到修改稿。

作者 任光勇 简介:男,25岁,硕士,2002年毕业于浙江大学土木工程系工业与民用建筑专业,主要从事桩基工程及地基处理方面的研究。电话:0571-87910503, 013858186280; E-mail: rgyong@163.net。

析有荷载传递法、分层总和法、弹性理论法、剪切变形法等主要方法^[4]。然而，上述所有确定单桩荷载-沉降的方法的研究都无一例外地假定桩身压缩为弹性压缩变形，事实上，通过计算钢筋混凝土的应力水平，由钢筋混凝土的应力-应变特征，可以发现此时桩身混凝土处于弹塑性阶段^[8, 9]。所以，这些理论有进一步修正的必要。

3 桩身混凝土在不同荷载水平下的压缩量

3.1 桩在竖向荷载下的受力性状

施加于桩顶的荷载，使桩身混凝土从上而下产生桩身压缩，从而产生相对于土的向下位移，而桩周土体为了阻止桩的向下位移，在桩侧表面会产生向上的侧摩阻力。由于桩侧阻力从上层到下层逐渐传递，使桩身轴力随深度递减，于是，桩身压缩量也随深度递减。

随着荷载的增大，桩侧摩阻力(以下简称侧阻)从上层向下层传递到桩端，桩身轴力也从上向下传递到桩端，此时，端阻(桩端阻力)开始逐渐发挥作用，这一阶段是侧阻与端阻共同作用且以侧阻为主。由于各种土的极限侧摩阻力发挥的相对位移为 2~10 mm(淤泥 2~5 mm, 粘土 5~6 mm, 粉土 6~10 mm)，所以，随着桩顶荷载的进一步加大，桩上部土层由于桩土相对位移较大从而使桩土产生滑移，此时深部土层的侧阻与端阻得到进一步的发挥，若继续加载，侧阻的相对比例减少，端阻的相对比例增大，但此时桩身混凝土的压缩由弹性压缩转向塑性压缩。

3.2 桩身压缩量的计算及测试方法

多参数静载试验既观测桩顶沉降 s_t ，又观测桩端沉降 s_b ，同时，可以观测桩身各点的沉降量及桩身应变。试验时，可按规范布置独立的基准梁系统，桩端沉降 s_b 是通过预先在打桩时沿钢筋笼内侧埋设 6 cm 水管，然后在 6 cm 水管内下放 12 mm 水管，再在桩顶 12 mm 水管上设测点来测量得到的。

从图 1 可以看出，桩顶测得的总沉降 s_t 由下列几部分组成：

$$s_t = s_{se} + s_{sp} + s_{sf} + s_b \quad (1)$$

式中： s_t 为桩顶的总沉降量， s_{se} 为桩身混凝土(可恢复)弹性压缩量， s_{sp} 为桩身混凝土(不可恢复)塑性

压缩量， s_{sf} 为桩身缺陷(如夹泥)引起的压缩量， s_b 为桩端沉降量(沉渣与混凝土混合物的压缩量即持力层的压缩量)。

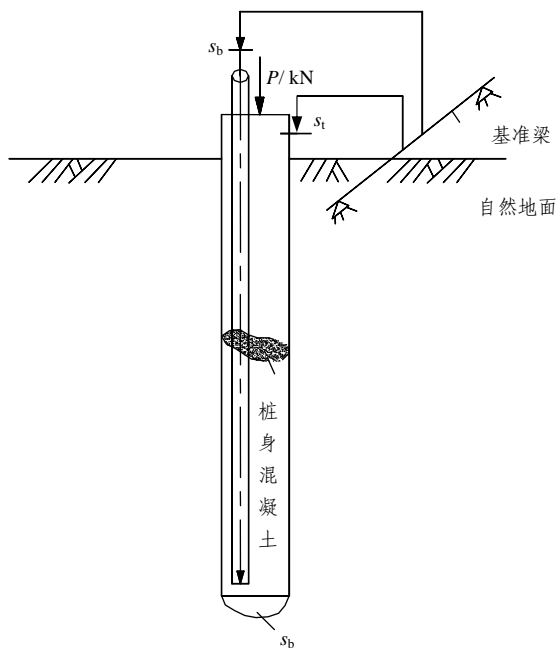


图 1 桩顶和桩端沉降组成

Fig1 Components of pile settlement

上述 4 种沉降可用桩顶与桩端沉降共同观测方法得到。图 2 中 s_t 为加载时桩顶仪表测得桩端沉降量； s'_t 为卸载时桩顶沉降量； $s_{se} = (s_t - s_b) - (s'_t - s'_b)$ 为桩身的弹性压缩量； $s'_t - s'_b = s_{sp} + s_{sf}$ 为桩身混凝土(不可恢复)塑性压缩量和桩身缺陷(如夹泥、堵管)引起的压缩量。对于完整桩 $s_{sf} = 0$ ， $s_{sp} = s'_t - s'_b$ 即为完整桩的塑性压缩量。

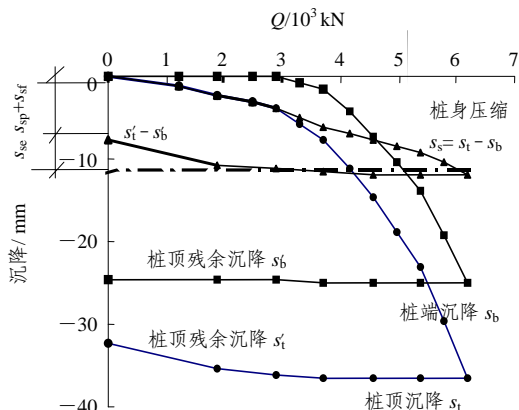


图 2 Q-s 曲线

Fig 2 Q-s curves

3.3 桩身压缩量弹性理论计算值

根据 Chen 和 Song(1991)桩身弹性压缩计算方

法, 桩身弹性压缩量的计算涉及到: (1) 桩端阻力与桩侧摩阻力的比例; (2) 桩侧摩阻力沿桩身的分布规律。令桩端阻力 P_p 与桩顶荷载 P 之比值为 a ; 则桩侧荷载 $P_s = (1-a)P$ 。如由桩侧摩阻力引起的桩身压缩量为 s_{es} , 由桩端阻力引起的桩身压缩为 s_{ep} , 则桩身的压缩 s_e 为

$$s_e = s_{es} + s_{ep} \quad (2)$$

式中: $s_{es} = \frac{\lambda P_s l}{A_p E_p} = \frac{\lambda(1-a)Pl}{A_p E_p}$, $s_{ep} = \frac{\alpha Pl}{A_p E_p}$

故

$$s_e = [\lambda + a(1-\lambda)] \frac{Pl}{A_p E_p} = \xi \frac{Pl}{A_p E_p} \quad (3)$$

式中: $\xi = [\lambda + a(1-\lambda)]$ 为桩身压缩量的综合系数; λ 为桩侧摩阻力分布系数, λ 的大小取决于工作荷载下的摩阻力沿桩身的分布; 如摩阻力呈均匀分布, $\lambda = 1/2$, 如呈倒三角形分布, $\lambda = 2/3$; l, d 分别为桩长和桩径。

统计各类桩在工作荷载下 $\lambda - l/d$ 关系, 可得 $\xi - l/d$ 的关系, 可查表。利用上式可求得桩身混凝土的弹性压缩量。

3.4 工程实例分析

3.4.1 东方花园实例分析

该工程是杭州市东方花园的试桩。该试桩桩长 50.50 m, 桩径 $\phi 800$ mm, C30 混凝土, 桩穿过 3 m 强风化安山玢岩并进入中等风化安山玢岩 1 m, 该中风化岩 $Q_{pk} = 10\ 000$ kPa, 有裂隙。试验时分别在桩端和桩顶下 11 m 处预埋了沉降管, 用应变杆测读桩端和桩顶下 11 m 处沉降量。现将试桩实测数据即计算所得桩身压缩示于表 1 和图 3。

由 $Q-s$ 曲线可知, 在前 3 级荷载下(即加载至 4 144 kN 时), 桩顶有沉降量, 而桩端无沉降量。桩身 11 m 处测点的沉降量与桩顶同步, 桩身 0~11 m 段混凝土压缩量大于 11~50 m 段的压缩量, 这说明施加于桩顶的荷载, 使桩身混凝土至上而下产生桩身压缩, 在桩侧表面产生向上的侧摩阻力, 桩身轴力随深度递减, 因而, 桩身压缩量也随深度递减。加载至第 4 级荷载 5 180 kN 时, 桩端才开始有微小沉降, $s_t = 0.06$ mm, 加载至第 6 级荷载 7 252 kN 时, 桩端沉降明显加大, $s_t = 1.48$ mm, 此时桩侧摩阻力得到充分发挥, 根据桩的受力性状, 对应的摩阻力即为极限侧摩阻力, $Q_{su} = 7\ 252$ kN。第 7 级荷载 8 288 kN 时, 桩端沉降 $s_t = 9.46$ mm, 桩顶沉

表 1 东方花园 1# 桩试验数据表
Table 1 Test data table for pile 1# at Eastern Garden

荷重/kN			桩顶累计沉降量 / mm	桩身各点累计沉降量/mm			桩身分段压缩量/mm			桩身弹性压缩量 s_2 / mm	$\frac{s_2}{s_1}$ / %
加荷	卸荷	累计		-50.50 m	-11 m	0~11 m	11~50.5 m	全长 s_1			
2 072		2 072	0.98	0.00	0.30	0.68	0.3	0.98	1.75		
1 036		3 108	2.49	0.00	0.82	1.67	0.82	2.49	2.62		
1 036		4 144	3.64	0.00	1.65	1.99	1.65	3.64	3.51	96.4	
1 036		5 180	5.25	0.06	2.77	2.48	2.71	5.19	4.72	90.9	
1 036		6 216	8.38	0.38	4.83	3.55	4.45	8.00	6.19	77.4	
1 036		7 252	12.55	1.48	7.90	4.65	6.42	11.07	7.83	70.7	
1 036		8 288	22.05	9.64	16.85	5.2	7.39	12.59	9.81	77.9	
1 036		9 324	37.06	18.38	30.24	6.82	11.86	18.68	12	64.2	
1 036		10 360	49.68	29.21	42.26	7.42	13.05	20.47	14.4	70.3	
1 036		11 396	59.96	34.25	51.67	8.29	17.42	25.71	17.04	66.3	
1 036		12 432	82.69	48.64	73.78	8.91	25.14	34.05	20.15	59.2	
	2 072	10 360	81.91	48.64	73.74	8.17	25.1	33.27	14.4	43.3	
	2 072	8 288	79.81	48.64	73.57	6.24	24.93	31.17	9.81	31.5	
	2 072	6 216	75.73	48.26	70.98	4.75	22.72	27.47	6.19	22.5	
	2 072	4 144	71.10	47.55	67.12	3.98	19.57	23.55	3.51	14.9	
	2 072	2 072	65.16	46.65	62.37	2.79	15.72	18.15	1.75	9.6	
	2 072	0	55.06	44.33	53.23	1.83	8.9	10.73	0	0	

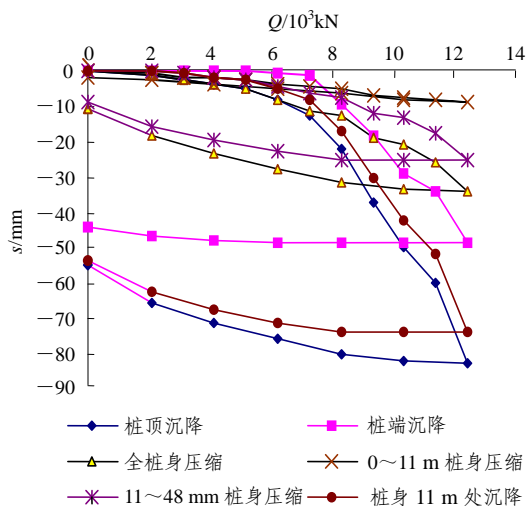


图 3 东方花园 1# 桩 Q-s 曲线

Fig.3 Q-s Curves for pile 1# at Eastern Garden

降 $s = 22.05 \text{ mm}$ ，该级荷载下沉降加大，继续加载，桩顶沉降主要由桩端沉渣与混凝土混合物逐渐压实和桩身压缩量决定。该桩桩端沉降当桩端受荷后发生较快且偏大，原因是桩底沉渣未清理干净。

计算了桩身弹性压缩量，并与实测值进行对比分析，如图 4 为全桩身 P_t-s_s 弹性理论值与实测值对比分析图。从全桩身 P_t-s_s 弹性理论值与实测值对比图中可以得知：当荷载小于 7 000 kN 时，实测值与弹性理论计算值较接近，增幅近似相同，理论曲线与实测曲线趋于一致；当荷载大于 7 500 kN 时，实测曲线与理论曲线逐渐分离。当荷载大于 9 000 kN 时，分离相当明显，桩身混凝土开始出现明显弹塑性，其塑性应变为卸载后桩顶残余沉降量减去桩端残余沉降量 $(55.06 - 44.33) = 10.73 \text{ mm}$ ，这也与 P_t-s_s 对比图中极限荷载下弹性理论值与实测值之差大致相等。由上分析可知，当超过某一临界荷载值时，桩身混凝土出现弹塑性。且随着荷载的增大，弹性压缩量占总压缩量比例减小，塑性压缩量所占比例增加，最大试验荷载下，塑性压缩量所占比例达 41%。

3.4.2 杭州科技大厦实例分析

对杭州市科技大厦 28# 试桩进行了分段测试，测出每点的沉降量(-5, -15, -25, -40 m)、回弹量及残余变形量。测试及分析数据见表 2, 3。可见在第 4 级荷载 $P = 6\ 210 \text{ kN}$ 下，桩端发生明显位移，桩侧摩阻力达到极限侧摩阻力，此时桩身压缩为 5.65 mm。随着荷载增加，塑性压缩占桩身总压缩的比例增大，在最大试验荷载下达 44.1%。

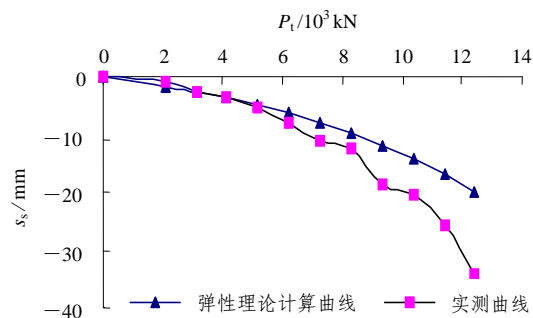


图 4 东方花园 1# 桩 P_t-s_s 理论与实测曲线对比图

Fig 4 P_t-s_s curves by theory and test for pile 1# at Eastern Garden

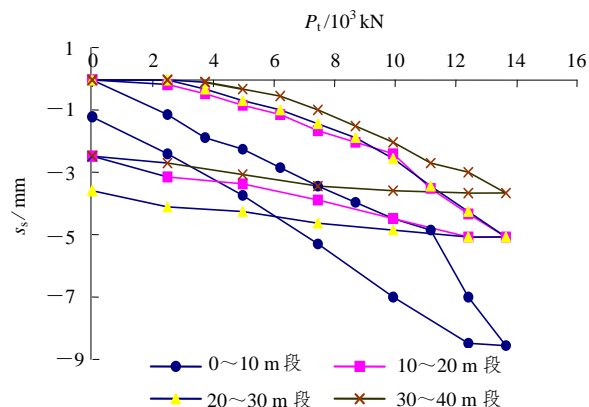


图 5 杭州科技大厦 28# 桩分段 P_t-s_s 曲线图

Fig.5 Divided P_t-s_s curves for pile 28# at Hangzhou Science and Technology Building

为了方便比较起见，计算出各段每 1 m 的平均值，然后累加计算得到 0~10, 10~20, 20~30, 30~40 m(从上至下分别为 AB, BC, CD, DE 段)的压缩量，这样就有可比性。作每一段的 P_t-s_s 曲线，结果发现：加载初期，由于荷载比较小，桩身轴力沿深度递减，因此，上部 AB 段的压缩量要比下部的大；随着上部荷载的增大，位于下部的 CD, DE 两段的压缩量逐渐增大；卸载后，明显发现底部 CD, DE 的残余变形量(塑性变形量)明显大于上部的 AB, BC 段。因此可知，桩身混凝土发生弹塑性变形时，其塑性变形大部分发生在桩的下部。但是桩身轴力随深度增加而减小，因此可以推断，桩身下部的强度很小。桩身下部的强度很小是由于在施工时候难以很好的控制其质量，从而发生混凝土强度不足(水泥用量不足、不密实、漏浆、离析)或成桩畸形(缩颈、夹泥、断桩)等情况。所以高质量的施工能够减小桩的沉降及弹塑性变形，提高桩的承载力。

表2 杭州科技大厦28#试桩试验数据表
Table 2 Test data for pile 28# at Hangzhou Science and Technology Building

荷重 / kN	桩顶累计沉降 / mm	桩身各点累计沉降量/mm				桩身平均分段压缩量/mm			
		-5 m	-15 m	-25 m	-40 m	0~10 m	10~20 m	20~30 m	30~40 m
2 484	1.42	0.36	0.13	0.02	0.00	1.17	0.17	0.062	0.013
3 726	2.81	1.16	0.70	0.13	0.01	1.88	0.515	0.325	0.08
4 968	4.37	2.36	1.79	0.73	0.22	2.29	0.815	0.70	0.34
6 210	10.41	8.01	7.09	5.65	4.76	2.86	1.18	1.02	0.59
7 452	20.08	17.41	15.90	14.01	12.46	3.43	1.70	1.46	1.03
8 694	29.03	25.96	24.11	21.89	19.59	3.99	2.04	1.88	1.53
9 936	38.32	34.95	32.75	30.16	26.28	4.47	2.395	2.59	2.06
11 178	48.03	44.63	41.76	37.59	33.56	4.84	3.52	3.43	2.69
12 420	57.92	52.45	49.36	43.83	39.36	7.00	4.31	4.27	2.98
13 662	69.27	62.54	58.89	52.43	46.89	8.56	5.06	5.08	3.69
12 420	69.16	62.52	58.88	52.43	46.89	8.46	5.05	5.07	3.69
9 936	66.81	61.22	58.37	52.20	46.80	7.02	4.51	4.89	3.60
7 452	63.74	59.37	57.52	51.65	46.53	5.30	3.86	4.64	3.41
4 968	60.62	57.47	56.22	50.71	46.10	3.78	3.38	4.29	3.07
2 484	57.46	55.46	54.60	49.13	44.03	2.43	3.17	4.10	2.73
0	53.56	52.92	51.70	48.00	42.80	1.25	2.46	3.58	2.51

表3 杭州科技大厦28#试桩数据分析
Table 3 Data interpretation for pile 28# at Hangzhou Science and Technology Building

桩顶荷载 / kN	桩身压缩量 s_1 / mm	弹性压缩 量 s_2	塑性压缩 量 s_3 / mm	$\frac{s_2}{s_1} / \%$	$\frac{s_3}{s_1} / \%$
2 484	1.42	2.27			
3 726	2.80	3.42			
4 968	4.15	4.56			
6 210	5.65	5.70			
7 452	7.62	6.83	0.79	89.6	10.4
8 694	9.44	7.97	1.47	84.4	15.6
9 936	12.04	9.11	2.93	75.7	24.3
11 178	14.47	10.25	4.22	70.8	29.2
12 420	18.56	11.39	7.17	61.4	38.6
13 662	22.38	12.53	9.85	55.9	44.4
12 420	22.27	11.39	10.88	51.1	48.9
9 936	20.01	9.11	10.90	45.5	54.5
7 452	17.21	6.83	10.38	39.7	60.3
4 968	14.52	4.56	9.96	31.4	68.6
2 484	13.43	2.27	11.16	16.9	83.1
0	12.76	0.00	12.76	0.0	100.0

4 桩身压缩的弹塑性性状分析

由东方花园 S_1 、杭州科技大厦 28# 试桩的静载荷试验资料对比发现：嵌岩桩桩身混凝土在小荷载下具有弹性性质；在大荷载下具有弹塑性性质；在接近桩身混凝土的破坏状态下具有塑性性质。

对于上覆土层良好、沉渣控制较好、持力层良好的摩擦端承桩，轴向荷载施加于单桩桩顶，最初的几级荷载由于桩身混凝土的弹性压缩而产生相对

土的向下位移，由此，桩侧表面产生向上的摩阻力，桩身荷载通过所发挥出来的桩侧摩阻力从上到下逐渐传递到桩周土层中去，使桩身轴力沿深度递减，此时，桩顶荷载几乎只由桩侧摩阻力提供；随着荷载的增大，桩侧摩阻力从桩顶土层到桩端逐渐发挥视沉渣的情况而定。如沉渣薄，则桩端有位移时桩端阻力就发挥作用；如沉渣厚，则桩端力在沉渣压实的过程中逐步发挥。而后随着荷载增大，桩身混凝土表现出弹塑性性质。

有一种情况，当桩端土性状差或有厚沉渣(> 100 mm)，此类桩可视为摩擦桩。轴向荷载施加于桩顶，由于桩端土持力性能差或桩底有大量沉渣，荷载增大后桩土相对位移较大，荷载主要由桩侧摩阻力承担。桩端阻力与桩顶荷载之比 P_b / P_t 几乎为零。最后桩端土达到破坏或桩侧摩阻力达到极限，沉降迅速增大，超过允许值。一般来说，由于桩端持力层性质较差，在桩顶荷载作用下很快达到破坏阶段，形成了“刺入式”破坏，极限承载力由桩顶桩端沉降控制，因此，极限荷载较小，此时，桩身混凝土往往处于弹性状态，适于弹性理论的假定。

5 桩身压缩量影响因素

5.1 长径比

桩身混凝土发生弹塑性变形的临界桩顶荷载在其他条件一定的情况下，与桩的长径比 l/d 有关， l/d 越大，该临界荷载就越小。如表 4，瑞安国际

表 4 瑞安国际大酒店 4 根试桩桩身压缩量分析

Table 4 Compression analysis for four piles at International Rui'an Hotel

桩号	桩长径比	最大试验 荷载/kN	桩顶沉降 s_t /mm	桩身总 压缩量 s_1 /mm	桩身弹性 压缩量 s_2 /mm	$\frac{s_2}{s_1}/\%$	桩身塑性 压缩量 s_3	$\frac{s_3}{s_1}/\%$	最大试验荷载下
									$\frac{s_2}{s_1}/\%$
Sz4	29.50	12 420	14.46	12.61	10.69	84.7	1.92	15.3	87.2
Sz1	66.69	13 972	28.15	24.07	16.05	66.7	7.92	33.3	85.5
Sz2	80.24	14 283	37.01	33.40	18.73	56.1	14.67	43.9	90.2
Sz3	96.30	14 904	45.81	37.21	21.74	58.4	15.47	41.6	81.2

大酒店 4 根试桩的桩身弹塑性压缩量分析表明，在最大荷载水平下，随着桩长径比的增加，桩身混凝土弹性压缩量占总压缩量的比例下降，而塑性压缩量所占比例增加。

5.2 桩顶荷载水平

在小荷载下，桩身混凝土近似弹性变形，大荷载下为弹塑性变形。东方花园 S_1 试桩与杭州科技大厦 28# 桩测试分析均表明：桩身压缩量和塑性压缩量均随桩顶荷载水平的增大而增大；随着荷载水平的增大，桩身弹性压缩量占总压缩量的比例下降，而塑性压缩量所占比例增加。

5.3 混凝土标号和配筋量

混凝土标号越大，桩身混凝土弹性模量就会越大，而桩身混凝土压缩量减小。增大主筋和箍筋量可以提高桩身的横向约束，因此，钢筋用量越大，则桩身压缩量越小。

5.4 施工方法

施工方法对桩基沉降及弹塑性变形有较大影响。成桩方法对桩身混凝土质量有较大影响，一般来说混凝土桩质量由好到差排序依次为：(1) 预制桩；(2) 干作业成孔桩；(3) 泥浆护、壁套管护壁钻孔桩，同时非挤土桩；(4) 部分挤土桩；(5) 挤土桩。钻孔桩施工时候很容易发生混凝土强度不足(水泥用量不足、不密实、漏浆、离析)或成桩畸形(缩颈、夹泥、断桩)等情况。所以，高质量的施工能够减小桩的沉降及弹塑性变形，提高桩的承载力。

6 大量灌注桩的压缩量的统计分析

通过大量试验资料，专门对桩径 $d = 800$ mm 的桩的桩身压缩量进行了统计分析。从统计分析图 6 可以看出：

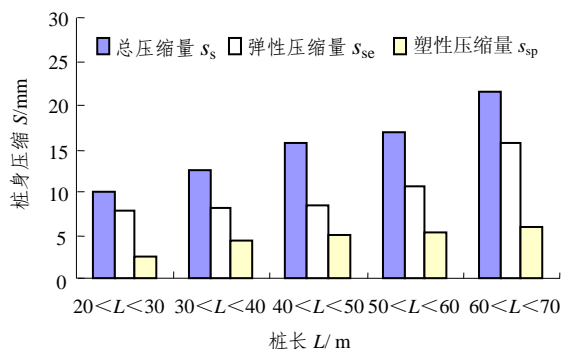


图 6 桩径 $d = 800$ mm 桩的桩身压缩量
Fig 6 Pile compression of pile with $d = 800$ mm

(1) 不同桩径的桩在极限荷载 Q_u 下的桩身混凝土压缩量是桩长的函数，亦即桩身压缩量随桩长的增加而增加。

(2) 极限荷载 Q_u 下的桩身混凝土的弹性压缩量是桩长的函数，亦即桩身弹性压缩量随桩长的增加而增加，这与弹性理论是一致的。不同桩径的桩在极限荷载下 Q_u 下的桩身混凝土不仅有弹性压缩量，而且有塑性压缩量。塑性压缩量主要由桩身混凝土本身(含气孔孔隙)压缩、桩身扰屈压缩及桩端附近混凝土压缩组成。而且塑性压缩量原则上也随着桩长的增加而增加。

(3) 在其他条件一定时，桩身荷载水平越高，桩身压缩量(后期特别是塑性压缩量)越大，而且桩身混凝土破坏前有一个门槛值(该值与桩顶荷载水平，混凝土标号，长径比，桩长，配筋量等有关)。实测表明：桩长 40 m，桩径 1 000 mm，C25 混凝土的桩其总压缩量门槛值约为 20 mm。亦即，当用这种桩做试桩时，控制最大试验荷载附加条件是桩顶、桩端沉降差(即桩身压缩量)小于 20 mm。而且，可用桩顶桩端沉降是否同步来判断桩身混凝土是否压

碎。

(4) 同一桩径条件下, 桩长增加, l/d 增大, 即桩的刚度系数减小。在竖向荷载下, 桩的挠度增加, 使桩身压缩量实测值增加。

7 关于稳定系数的讨论

在进行桩身承载力与抗裂计算时, 需考虑压曲的影响。《建筑桩基技术规范》^[3]根据桩身计算长度 l_c 和桩的设计直径的比值(即长径比)确定桩身稳定系数。规范沿用的是《混凝土结构设计规范》中钢筋混凝土轴心受压构件的稳定系数计算模型。其桩身轴心抗压强度随 l/d 的增大折减幅度很大。在

$$l/d$$

= 26 时, $\varphi = 0.52$, 当 $l/d = 40$, $\varphi = 0.23$, 此时, 计算所得桩身轴心抗压强度已经很小。实际桩身为埋设于土体的柱形构件, 桩身处于桩身轴力与径向土压力的三向应力状态下, 同时, 桩身轴力由于侧摩阻力的存在而沿桩身向下递减, 这与桩基规范采用的轴心受压构件有所不同, 规范的方法已不符合桩身实际受力情况, 过于保守。在杭州温州地区实际工程中, 特别是对于温州地区软土, 淤泥层深厚, 含水量很高(>50%), 地基承载力很小, 持力层覆盖很深, 很多桩长径比已经远远大于规范限定范围, 但鲜有桩身压曲的先例。如瑞安大厦试桩 $Sz1$, $Sz2$, $Sz3$, 长径比都很大, 甚至达到 100, 远大于规范规定范围, 但静载荷试验表明, 桩身在接近极限荷载的情况下, 桩身未见压曲。因此, 规范关于稳定系数的取法不尽合理, 建议按桩身在土压力围压作用下的变轴力杆件来计算桩身临界压力和稳定系数。

8 结 语

(1) 多参数钻孔桩静载荷试验同时观测桩顶和桩端沉降, 同时还可以观测桩身各点沉降, 能直观地得到不同长径比的桩在不同荷载水平下的压缩量变化规律。

(2) 桩身混凝土在大荷载下的弹塑性与桩的类型有关, 一般来说, 摩擦桩的桩身混凝土可以作弹

性假定; 端承桩、摩擦端承桩在大荷载下呈弹塑性性状。

(3) 桩身混凝土的压缩量是与桩顶荷载大小、桩长、长径比(l/d)、桩身混凝土标号(弹性模量)、配筋量、地质条件以及桩身混凝土施工质量有关的量。施工质量好可以提高桩身混凝土强度, 增大弹性模量。因此, 严格控制施工质量尤其是下半部分的质量, 可以很好的提高桩的承载力、桩的强度, 从而减少塑性变形。同时, 桩身强度计算时需乘以一个桩基施工工艺系数来考虑施工质量的影响。

(4) 由于在 Q_u 下桩身混凝土既有弹性压缩, 也有塑性压缩, 所以对桩作为弹性杆件的假设需要修正。现有的计算桩身轴力、压缩、桩顶桩端沉降的公式, 都是按桩身混凝土为弹性状态下得出的, 所以在理论假定和计算时要加以考虑。当桩达弹塑性变形阶段时, 桩身弹性模量逐渐减小。如在大荷载下用钢筋应变计来推算桩身轴力就不能用弹性虎克定律来简单计算。

(5) 建筑桩基技术规范中桩身稳定系数的取法过于保守, 建议考虑桩侧摩阻力和土体弹性抗力的影响来计算稳定系数 φ 。

参 考 文 献

- 1 赖琼华. 桩的 $P-S$ 曲线计算方法[J]. 岩石力学与工程学报, 2003, 22(3): 509~513
- 2 张忠苗. 软土地基大直径桩受力性状与桩端注浆新技术[M]. 杭州: 浙江大学出版社, 2001
- 3 中国建筑科学研究院. 建筑桩基技术规范(JGJ94-94)[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1995
- 4 桩基工程手册编写委员会. 桩基工程手册[M]. 中国建筑工业出版社, 1995
- 5 董必昌, 郑俊杰. CFG 桩复合地基沉降计算方法研究[J]. 岩石力学与工程学报, 2002, 21(7): 1084~1086
- 6 何 剑. 泥岩地基中灌注桩竖向承载性状试验研究[J]. 岩石力学与工程学报, 2002, 21(10): 1573~1577
- 7 刘金励. 桩基础设计与计算[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1990
- 8 张忠苗. 软土地基超长嵌岩桩的受力性状[J]. 岩土工程学报, 2001, 23(5): 552~556
- 9 吴达人. 浅析大口径灌注桩的受力机理[J]. 福建建筑, 2002, (B10)51~53